# تحليل البنية الارتباطية والتأثيرات المباشرة وغير المباشرة لمكونات الغلة في هجن من القمح الطري

محمد باقر العبد الواحد[1*] و فيصل بكور[1] و ثامر الحنيش[2]

[1] قسم المحاصيل الحقلية، كلية الهندسة الزراعية، جامعة حمص، سورية.

[2] الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، إدارة بحوث المحاصيل، دمشق، سورية.

(*للمراسلة: محمد باقر العبد الواحد، البريد الإلكتروني: Baker963949351833@gmail.com)

تاريخ الاستلام: 1/ 2/ 2026 تاريخ القبول: 12/ 3/ 2026

## الملخّص

درست ثلاثة هجن فردية من القمح الطري (*Triticum aestivum* L.) في محطة بحوث قرحتا خلال موسمي 2020–2021 و2021–2022، بهدف تقييم العلاقات الارتباطية بين صفة الغلة الحبية ومكوناتها، وتحديد أهم الصفات المؤثرة فيها باستخدام تحليل معامل المسار. صممت التجربة وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة (RCBD) بثلاثة مكررات، وحُللت البيانات إحصائياً باستخدام معاملات الارتباط البسيط، والتأثيرات المباشرة وغير المباشرة لمكونات الغلة، ومعامل التحديد ($R^2$) والأهمية النسبية لكل صفة في تباين الغلة الحبية. أظهرت نتائج تحليل الارتباط وجود علاقات ارتباطية موجبة ومعنوية عند مستوى دلالة احصائية 1% بين الغلة الحبية وكل من عدد الحبوب في النبات (GPP)، وعدد الحبوب في السنبلة (GPS)، ووزن الألف حبة (TKW)، وعدد السنابل في النبات (SPP)، ودليل الحصاد (HI) في الهجن الثلاثة. كشفت نتائج تحليل معامل المسار أن صفة عدد الحبوب في النبات (GPP) كانت الصفة الأكثر إسهاماً مباشراً في تباين الغلة الحبية في جميع الهجن، حيث بلغت قيمة معامل المسار للتأثير المباشر 0.749، 0.613، و0.980 للهجن الأول والثاني والثالث على التوالي، وبلغت الأهمية النسبية لهذه الصفة (68.35%، 53.61%، 88.91%) على التوالي، تلتها صفة وزن الألف حبة (TKW). بلغت قيم معامل التحديد ($R^2$) للنماذج الإحصائية للهجن الثلاثة (0.979، 0.994، 0.996) على التوالي، مما يشير إلى أن الصفات المدروسة تفسر أكثر من 98% من التباين في الغلة الحبية. تؤكد النتائج المتحصل عليها أن صفة عدد الحبوب في النبات تعد صفة رئيسية يجب التركيز عليها عند الانتخاب المباشر في برامج التربية، حيث يمكن اعتمادها معياراً انتخابياً أساسياً لتحسين الغلة الحبية، إلى جانب الأخذ بعين الاعتبار التحسين المتزامن لوزن الألف حبة والحفاظ على قدرة التفريع العالية (عدد السنابل) كعوامل داعمة لتعظيم الإنتاجية في هذه الهجن الواعدة من القمح الطري.

**الكلمات المفتاحية:** القمح الطري، معامل الارتباط، تحليل المسار، الغلة الحبية.

## المقدمة:

يُعد القمح الطري (*Triticum aestivum* L.) أحد أهم محاصيل الحبوب في العالم وفي سورية، وهو عنصرٌ رئيسي من عناصر النظام الغذائي الذي يحقق الأمن الغذائي للسكان. إن نجاح برامج التحسين الوراثي للقمح يعتمد بشكل أساسي على فهم العلاقات المعقدة بين صفة الغلة الحبية ومكوناتها المختلفة، ذلك أن الغلة الحبية تُعد صفة كمية معقدة محكومة بالعديد من المورثات وتتأثر

بشدة بالظروف البيئية، مما يجعل الانتخاب المباشر لها أقل كفاءة من الانتخاب غير المباشر عبر مكوناتها ذات المكافئ الوراثي المرتفع (Dangi, 2024; Gooding *et al.*, 2003 ; Grafius, 1956 ; Hayes *et al.*, 1955).

تُعد دراسة معاملات الارتباط بين الصفات الكمية خطوة أساسية في برامج تربية المحاصيل الحقلية، إذ تُتيح للمربي فهم درجات التلازم بين الصفات الاقتصادية وتحديد إمكانية التحسين المتزامن لها (Dewey and Lu, 1959; Johnson et al., 1955). وتستند هذه الارتباطات بيولوجياً إلى ظاهرة التأثير المتعدد للمورثات (Pleiotropy) حيث تؤثر المورثة الواحدة في مسارات استقلابية متعددة، إضافة إلى ظاهرة الارتباط الوراثي (Linkage) بين المواقع الكروموسومية المسؤولة عن تلك الصفات (Chen and Lubberstedt, 2010). وفي محصول القمح، أشارت العديد من الدراسات إلى أن زيادة الغلة تعتمد بشكل رئيسي على تعظيم مكوناتها الأساسية المتمثلة في عدد السنابل في وحدة المساحة وعدد الحبوب في السنبلة ووزن الألف حبة، حيث تظهر هذه الصفات ارتباطات إيجابية قوية مع المحصول النهائي في بيئات مختلفة (Aycicek and Yildirim, 2006; Duggan *et al.*, 2005; عطاالله، 2023; كاسو، 2023)

غير أن معاملات الارتباط البسيط، على الرغم من أهميتها، لا تكشف عن التأثيرات السببية المباشرة وغير المباشرة للصفات المختلفة في الغلة الحبية. ولتجاوز هذه المحدودية، طور Wright (1923) أسلوب تحليل معامل المسار (Path Coefficient Analysis) الذي يُمكِّن من تقسيم معاملات الارتباط إلى تأثيرات مباشرة وغير مباشرة، مما يوفر فهماً أعمق للعلاقات السببية بين المتغيرات. ويُعد هذا الأسلوب أداة إحصائية قوية لتحديد الأهمية النسبية لمختلف مكونات الغلة وتحديد أي منها يستحق التركيز الأكبر في برامج الانتخاب (Dewey and Lu, 1959).

طُبّق تحليل الارتباط ومعامل المسار بنجاح في العديد من الدراسات على محصول القمح لتحديد الصفات الأكثر تأثيراً في الغلة الحبية. أشارت دراسة Mishra *et al.* (2025) التي أجريت على 28 طرازاً وراثياً من القمح الطري، إلى وجود ارتباط إيجابي قوي ومعنوي بين محصول الحبوب للنبات الواحد وكل من المحصول البيولوجي ($r = 0.756$) ، وعدد الإشطاءات المثمرة ($r = 0.728$ إلى 0.801)، وعدد الحبوب في السنبلة ($r = 0.672$ إلى 0.728) عبر مختلف مواعيد الزراعة، وأوضح الباحثون من خلال تحليل معامل المسار أن هذه الصفات لم ترتبط بالمحصول فحسب، بل كانت المساهم المباشر الأكبر في تحديده، حيث سجلت الإشطاءات المثمرة وعدد الحبوب في السنبلة أعلى تأثيرات مباشرة موجبة على الغلة تحت ظروف الإجهاد الحراري الناتج عن الزراعة المتأخرة. وفي دراسة لـ Zhang *et al.* (2024) على أصناف القمح في سهل Haihe الصيني وجدوا ارتباط إيجابي قوي بين دليل الحصاد والغلة ($r = 0.89$)، مشيرين إلى أن الأصناف حديثة الاعتماد حققت زيادة في الغلة من خلال تحسين دليل الحصاد بدلاً من زيادة الكتلة الحيوية الكلية. ووجد عطاالله (2023) في دراسته على أربعة هجن من القمح الطري أن صفة الغلة الحبية في النبات ارتبطت إيجابياً ومعنوياً بصفات ارتفاع النبات، وعدد السنابل في النبات، وعدد الحبوب في السنبلة، وعدد الحبوب في النبات، ووزن الألف حبة في الهجن الأربعة المدروسة، كما ارتبطت سلبياً ومعنوياً بصفة عدد الأيام حتى الإسبال في الهجينين الثالث والرابع، وسلبياً غير معنوي في الهجينين الأول والثاني، وبينت نتائج تحليل معامل المسار أن صفات عدد السنابل في النبات، وعدد الحبوب في السنبلة، ووزن الألف حبة هي أكثر الصفات مساهمةً في الغلة الحبية في النبات. وهذه النتائج مشابهةٌ لما توصلت اليه كاسو (2023) في دراستها على هجن من القمح القاسي، حيث وجدت أن صفة الغلة الحبية في النبات ارتبطت إيجابياً ومعنوياً بصفات عدد السنابل في النبات، وعدد الحبوب في السنبلة، ووزن الألف حبة، والغلة الحيوية ودليل

الحصـاد في الهجن الثلاثة المدروسـة، كما ارتبطت ارتباطاً سـلبياً غير معنوي بصـفة ارتفاع النبات في الهجينين الأول والثالث، وبصـفة عدد الأيام حتى الإسـبال في الهجين الثاني وبصـفة عدد الأيام حتى النضـج في الهجين الثالث، في حين أظهرت نتائج تحليل معامل المسار أن صفات عدد السنابل في النبات، وعدد الحبوب في السنبلة ووزن الألف حبة هي أكثر الصفات مساهمةً في الغلة الحبية في النبات في الهجن الثلاثة بالإضافة إلى صفة الغلة الحيوية في الهجين الثاني ما يؤكد على أهمية تحسين الغلة الحبية من خلال مكوناتها. وتوصـلت دراسـة Kumar *et al.* (2022) إلى وجود ارتباط إيجابي عالي المعنوية بين عدد الحبوب وكل من الكتلة الحيوية ودليل الحصـاد. وقد أوضـح تحليل معامل المسار في دراستهم أن الكتلة الحيوية كانت العامل الأهم، حيث أظهرت أعلى تأثير مباشر موجب على الغلة، تلاها صفة دليل الحصاد، وأشارت الدراسة إلى أن التحسين المتزامن لهاتين الصفتين يُعد الاستراتيجية الأنجع لتعزيز إنتاجية القمح في الظروف المثالية، نظراً لمساهمتهما المباشرة والكبيرة في تحديد المحصول النهائي مقارنة بمكونات الغلة الأخرى التي كان تأثيرها ثانوياً أو غير مباشـر. وتوصـل العبد الواحد (2020) في دراسـة الارتباط ومعامل المسار لصفة الغلة الحبية إلى أن صفتي دليل الحصاد، ووزن الحبوب في السنبلة كانتا أكثر الصفات ارتباطاً بالغلة الحبية، حيث كان ارتباطهما عالي المعنوية (r=0.79**، r=0.78**) على التوالي، يليهما صـــفة عدد الحبوب في النبات (r=0.72**)، ثم صفة عدد الحبوب في السنبلة (r=0.64**)، ثم صفة عدد السنابل في النبات (r=0.50**). وكان ارتباط الغلة الحبية في النبات سـالباً ومعنوياً مع صـفة عدد الأيام حتى النضـج (r=-0.26*). كما بين تحليل معامل المسـار أن صـفة عدد الحبوب في النبات أكثر الصـفات مسـاهمةً في الغلة الحبية من بين الصـفات المرتبطة معها إيجابياً ومعنوياً، تلتها صـفة وزن الحبوب/السنبلة. وأكد Slafer *et al.* (2014) و Zhou *et al.* (2007) على الدور الحاسم للقدرة التخزينية (Sink Capacity) والمتمثلة بعدد الحبوب في تحديد الكمية النهائية للمحصـول، مؤكدين أن التحسين الوراثي للغلة في القمح يرتبط بشكل وثيق بزيادة عدد الحبوب في وحدة المساحة.

تكتسـب دراسـة هذه العلاقات في الأجيال الانعزالية المبكرة كالجيل الثاني ($F_2$) أهمية خاصـة، إذ تُمكِّن المربي من اسـتبعاد التراكيب الوراثية غير المرغوبة مبكراً وتركيز الجهود الانتخابية على الصـــفات التي تُفســـر التباين الأكبر في الغلة، مما يرفع من الكسب الوراثي المتوقع ويختصر الوقت اللازم لاستنباط أصناف عالية الإنتاجية (Mecha *et al.*, 2017).

ويواجه الواقع الزراعي السـوري اليوم تحديات جسـيمة. فقد أدى تعاقب سـنوات الجفاف، وسـوء توزع الهطولات المطرية، إلى تذبذب كبير في الإنتاجية من عام لآخر، خاصـة في مناطق الزراعة البعلية التي تشـكل النسـبة الأكبر من المسـاحة المزروعة. وتشـير التقارير الحديثة إلى أن الفجوة بين الإنتاج والاسـتهلاك المحلي آخذة في الاتسـاع، مما يسـتنزف موارد الدولة في عمليات الاستيراد. هذا الواقع يضـع الباحثين ومربي النبات أمام مسؤولية وطنية وأخلاقية للبحث عن حلول غير تقليدية، تتجاوز الأساليب الزراعية الاعتيادية لتدخل في عمق التحسين الوراثي للنبات. ونظراً لأهمية التهجين كأسلوب فعال في زيادة التباين الوراثي واستنباط تراكيب وراثية جديدة تجمع بين الصـفات المرغوبة من الآباء المختلفة، فإن دراسـة العلاقات الارتباطية وتحليل معامل المسـار في الأجيال الانعزالية الناتجة عن الهجن الفردية يُعد أمراً ضرورياً لتوجيه عملية الانتخاب بكفاءة عالية.

لذلك تهدف هذه الدراسة إلى:

1. تقييم العلاقات الارتباطية بين صفة الغلة الحبية ومكوناتها في ثلاثة هجن فردية واعدة من القمح الطري.

2. تطبيق تحليل معامل المسار لتحديد التأثيرات المباشرة وغير المباشرة لمكونات الغلة.
3. تحديد أهم الصفات التي يجب التركيز عليها في برامج الانتخاب لتحسين الغلة الحبية في هذه الهجن.
4. حساب الأهمية النسبية لكل صفة في تفسير التباين الكلي للغلة الحبية، مما يوفر دليلاً علمياً لتوجيه استراتيجيات التربية المستقبلية.

## مواد البحث وطرائقه:

### المادة النباتية:

استخُدم في هذه الدراسة ثلاثة هجن فردية من القمح الطري هي (جواهر 14 × دوما 4)، (أكساد 1149 × شام 6)، (أكساد 1252 × جواهر 14). تم انتخابها من بين واحدٍ وعشرين هجيناً فردياً استنبطت في بحث الماجستير بطريقة التهجين نصف التبادلي بين سبعة طرز وراثية من القمح الطري. ويوضح الجدول (1) نسب وصفات الطرز الوراثية التي نتجت عنها الهجن الثلاثة المدروسة.

**الجدول (1): الطرز الوراثية المستخدمة في الدراسة مع أنسابها وبعض مواصفاتها**

| مسلسل | الطراز الوراثي | النسب | المواصفات |
|---|---|---|---|
| 1 | شام 6 | W3918 / JUP | صنف معتمد لمناطق الزراعة الأولى والثانية عدد الأيام حتى الإسبال 102، عدد الأيام حتى النضج التام 138 يوماً، ارتفاع النبات 78.3، الإنتاجية 3324 كغ.هكتار$^{-1}$. |
| 2 | دوما 4 | 'ACSAD 529/KARAWAN'S | صنف معتمد لمناطق الزراعة الثانية عدد الأيام حتى الإسبال 119 يوماً، وحتى النضج التام 159 يوماً، ارتفاعه 67سم، الإنتاجية 2257كغ.هكتار$^{-1}$ |
| 3 | جواهر 14 | SHUHA-4//NS732/HER | سلالة مبشرة عدد الأيام حتى الإسبال 117 يوماً، وحتى النضج التام 162 يوماً، ارتفاعه 68سم، وزن الألف حبة 28غ. |
| 4 | أكساد 1149 | SNB'S'//SHI4414/CROW'S' /3/KARAWAN2 | سلالة مبشرة عدد الأيام حتى الإسبال 115 يوماً، وحتى النضج التام 162 يوماً، ارتفاعه 63سم، وزن الألف حبة 29غ. |
| 5 | أكساد 1252 | HAAMA-11//KARAWAN-1/TALLO-3 | سلالة مبشرة |

**المصدر**: تقارير اعتماد الأصناف والتقارير السنوية (1992 – 2014)

### موقع تنفيذ البحث:

تمت الزراعة في محطة بحوث قرحتا التابعة للهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، خلال موسمي 2020-2021، 2021-2022.

تتميز المحطة بتربة خفيفة وهي فقيرة بالمادة العضوية، تميل إلى القلوية (pH= 7.66). حيث يوضّح الجدول (2) الخصائص الكيميائيّة والميكانيكيّة للتربة، كما يوضّح الجدول (3) المعطيات المناخيّة لموقع الزراعة خلال مواسم تنفيذ الدراسة.

**الجدول (1): التحليل الكيميائي والميكانيكي لتربة التجربة في العام 2022/2021.**

| المؤشر | (EC) dS.m$^{-1}$ لمحلول عجينة التربة المشبعة | (pH) | المادة العضوية (%) | N الكلي (%) | K المتاح Ppm | P المتاح Ppm | التحليل الميكانيكي (%) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | رمل | سلت | طين |
| القيمة | 1.4 | 7.66 | 1.616 | 0.03 | 7.341 | 18.58 | 39 | 23 | 38 |
| التوصيف | منخفضة | تميل للقلوية | منخفضة | متوسط | عالي | عالي | تربة خفيفة | | |

**المصدر:** إدارة بحوث الموارد الطبيعية، قسم بحوث فيزياء وكيمياء التربة.

**الجدول (3): المعطيات المناخية في محطة بحوث قرحتا خلال المواسم الزراعية**

| أشهر موسم النمو | الموسم الزراعي 2020-2021 | | | الموسم الزراعي 2021-2022 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | متوسط درجات الحرارة (°م) | | الهطول المطري (ملم) | متوسط درجات الحرارة (°م) | | الهطول المطري (ملم) |
| | الصغرى | العظمى | | الصغرى | العظمى | |
| تشرين الثاني | 6.57 | 18.44 | 16.5 | 9.21 | 18.92 | – |
| كانون الأول | 3.4 | 14.9 | 40 | 5.6 | 16.04 | 13 |
| كانون الثاني | -1.49 | 12.8 | 39.5 | 2.26 | 10.49 | 33.1 |
| شباط | 4.43 | 14.58 | 27.5 | 3.47 | 16.05 | 31.8 |
| آذار | 5.76 | 17.66 | 20 | 11.03 | 23.68 | 21.8 |
| نيسان | 13.66 | 29.28 | 15 | 12.96 | 30.38 | 28 |
| أيار | 12.85 | 29.61 | – | 12.99 | 31.01 | 7 |
| **المتوسط السنوي لدرجات الحرارة (°م)** | **6.52** | **19.63** | | **8.22** | **20.94** | |
| **مجموع الهطول المطري السنوي (ملم)** | | | **158.5** | | | **134.7** |

**المصدر:** الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، محطة بحوث قرحتا 2022.

### *طريقة الزراعة:*

زرعت التجربة وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة (RCBD) بثلاثة مكررات، حيث تمت زراعة عشيرة الجيل الثاني $F_2$ بثلاثة عشر سطراً ، طول السطر 3 م والمسافة بين السطور 25 سم. طُبِّق برنامج الري الكامل بطريقة التطويف وأُعطي المحصول سبع ريات في كل موسم، وقدّمت كافّة العمليّات الزراعيّة حسب توصيات وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي لمحصول القمح.

### *الصفات المدروسة:*

عدد الأيام حتى الإسبال **DTH**، عدد الأيام حتى النضج التام **DTM**، ارتفاع النبات **PH**، طول حامل السنبلة **SPL**، مساحة ورقة العلم **FLA**، عدد السنابل في النبات **SPP**، عدد الحبوب في السنبلة **GPS**، عدد الحبوب في النبات **GPP**، وزن الألف

حبة **TKW**، الغلة الحبية في النبات **GY**، الغلة الحيوية في النبات **BY**، دليل الحصـــاد **HI**، محتوى البروتين **PC**، البلورية **VIT**.

### *التحليل الإحصائي:*

حُللت البيانات إحصائياً باستخدام برنامج R نسخة (R Core Team, 2023)، حيث حُسبت معاملات الارتباط البسيط ورُسمت المخططات الحرارية لمصفوفات الارتباط باستخدام برنامج R أيضاً. أُجري تحليل معامل المسار وفقاً لـــ Dewey and Lu (1959) لحساب التأثيرات المباشرة وغير المباشرة ومعامل التحديد ($R^2$) والأهمية النسبية لكل صفة.

## النتائج والمناقشة:

### *الارتباط بين الصفات المدروسة*

#### 1. علاقات الارتباط المظهري في الهجين الأول (جواهر 14 × دوما 4)

أظهرت نتائج تحليل الارتباط المظهري للهجين الأول (H1) ســلوكاً وراثياً متميزاً فيما يتعلق بتحديد المكونات الأكثر ارتباطاً بالإنتاجية جدول (4)، حيث ســجلت الغلة الحبية ارتباطاً موجباً عالي المعنوية مع صــفة عدد الحبوب في النبات (GPP) والتي بلغت قيمتها (r = 0.913**)، وهي أعلى قيمة ارتباط مســجلة في هذا الهجين. تؤكد هذه النتيجة الدور الحاسـم للقدرة التخزينية (Sink Capacity) والمتمثلة بعدد الحبوب في تحديد الكمية النهائية للمحصــول، وتتفق مع الطرح العلمي القائل بأن التحســين الوراثي للغلة في القمح يرتبط بشكل وثيق بزيادة عدد الحبوب في وحدة المساحة (Slafer *et al.*, 2014; Zhou *et al.*, 2007).

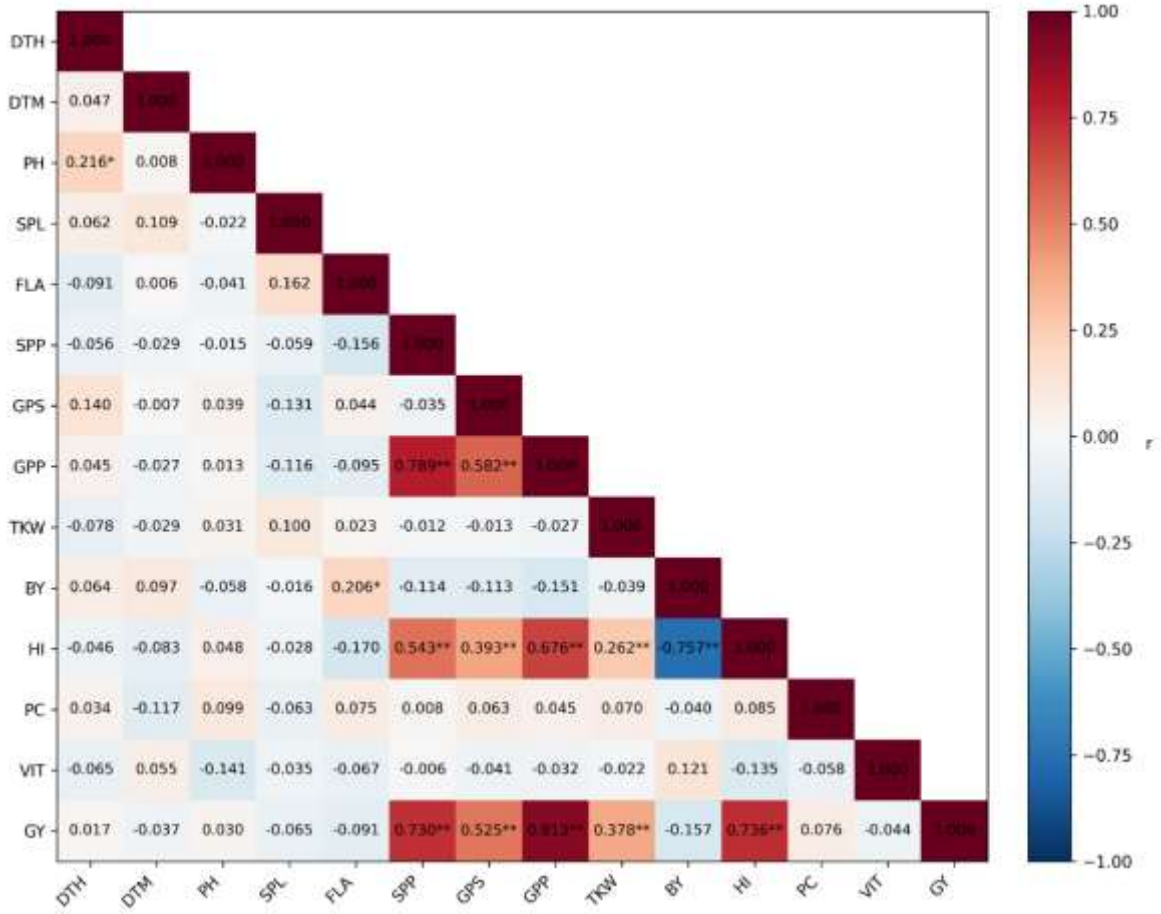
كما أظهرت النتائج ارتباطاً معنوياً موجباً وقوياً بين الغلة ودليل الحصاد (HI) بقيمة (r = 0.736**)، مما يعكس كفاءة فسيولوجية عالية لهذا الهجين في توزيع المادة الجافة المتراكمة وتوجيه نواتج التمثيل الضــوئي نحو الحبوب بدلاً من الأجزاء الخضــرية غير الاقتصادية، وهي صفة تُعد مؤشراً هاماً للانتخاب غير المباشر لزيادة الغلة (Richards *et al.*, 2014). هذه النتيجة تتفق مع ما توصل إليه (العبدالواحد، 2020; عطاالله، 2023; كاسو، 2023; Zhang *et al.*, 2024).

أما بالنسبة لصفة عدد السنابل في النبات (SPP)، فقد أظهرت ارتباطاً موجباً عالي المعنوية مع الغلة (r = 0.730**)، مما يشير إلى أن القدرة على الإشطاء (Tillering Ability) في هذا الهجين تساهم بشكل فعال ومباشر في بناء المحصول النهائي. ويُعزز ذلك الارتباط القوي جداً الذي ظهر بين عدد السنابل وعدد الحبوب في النبات (r = 0.789**) (GPP)، مما يعني أن الزيادة في عدد الإشطاءات (Tillers) تُرجمت فعلياً إلى زيادة في عدد السنابل الخصبة والحبوب، ولم تقتصر على نمو خضري عقيم، وهو ما يتوافق مع نتائج (Duggan *et al.*, 2005) حول أهمية التفريع المنتج في البيئات المواتية.

وفيما يخص العلاقة الجدلية بين العدد والوزن، فقد ســجلت صــفة وزن الألف حبة (TKW) ارتباطاً موجباً معنوياً مع الغلة (r = 0.378**)، وإن كان أقل قوة من ارتباط المكونات العددية. ومن الملاحظات المهمة في هذا التحليل وجود ارتباط سالب لكن غير معنوي بين وزن الألف حبة (TKW) وعدد الحبوب في السنبلة (r = -0.013) (GPS)، أو عدد الحبوب في النبات (GPP) (r = -0.02)، حيث يتفق هذا مع مبدأ التعويض الفســيولوجي (Physiological Compensation) المعروف في الحبوب (Acreche and Slafer 2006).

وعلى صعيد الصفات المورفولوجية والفينولوجية، أظهرت النتائج غياب أي ارتباط معنوي بين الغلة وصفات مثل التبكير (DTH) وارتفاع النبات (PH)، حيث كانت قيم الارتباط ضعيفة وغير مؤثرة إحصائياً. يمنح هذا الاستقلال الوراثي مرونة في برامج التربية لانتخاب تراكيب وراثية عالية الإنتاجية بمدى واسع من مواعيد النضج وأطوال الساق، مما يسهل عملية أقلمة الأصناف المستنبطة من هذا الهجين لمناطق بيئية متباينة. حيث تشير الدراسات إلى أن التباين في ارتفاع النبات يسمح بانتخاب طرز وراثية قصيرة الساق لمقاومة الرقاد في البيئات المروية، وطرز أطول نسبياً للبيئات الجافة وشبه الجافة، حيث يساهم الساق الأطول في توفير مخزون كربوهيدراتي احتياطي يدعم امتلاء الحبوب عند حدوث إجهاد مائي أو حراري، وهو ما أكده Rebetzke *et al.* (2012) في دراستهم حول دور ارتفاع النبات في التكيف مع البيئات المتباينة.

**الجدول (4): قيم معامل الارتباط المظهري بين صفة الغلة والصفات المدروسة لعشيرة الجيل الثاني ($F_2$) للهجين الأول (جواهر 14 × دوما 4)**




**DTH**= عدد الأيام حتى الإسبال، **DTM**= عدد الأيام حتى النضج التام، **PH**= ارتفاع النبات، **SPL**= طول حامل السنبلة، **FLA**= مساحة الورقة العلم، **SPP**= عدد السنابل في النبات، **GPS**= عدد الحبوب في السنبلة، **GPP**= عدد الحبوب في النبات، **TKW**= وزن الألف حبة، **GY** = الغلة الحبية في النبات، **BY**= الغلة الحيوية في النبات، **HI**= دليل الحصاد، **PC**= محتوى الحبوب من البروتين، **VIT**= البلورية، * المعنوية على مستوى 5%، ** المعنوية على مستوى 1%.

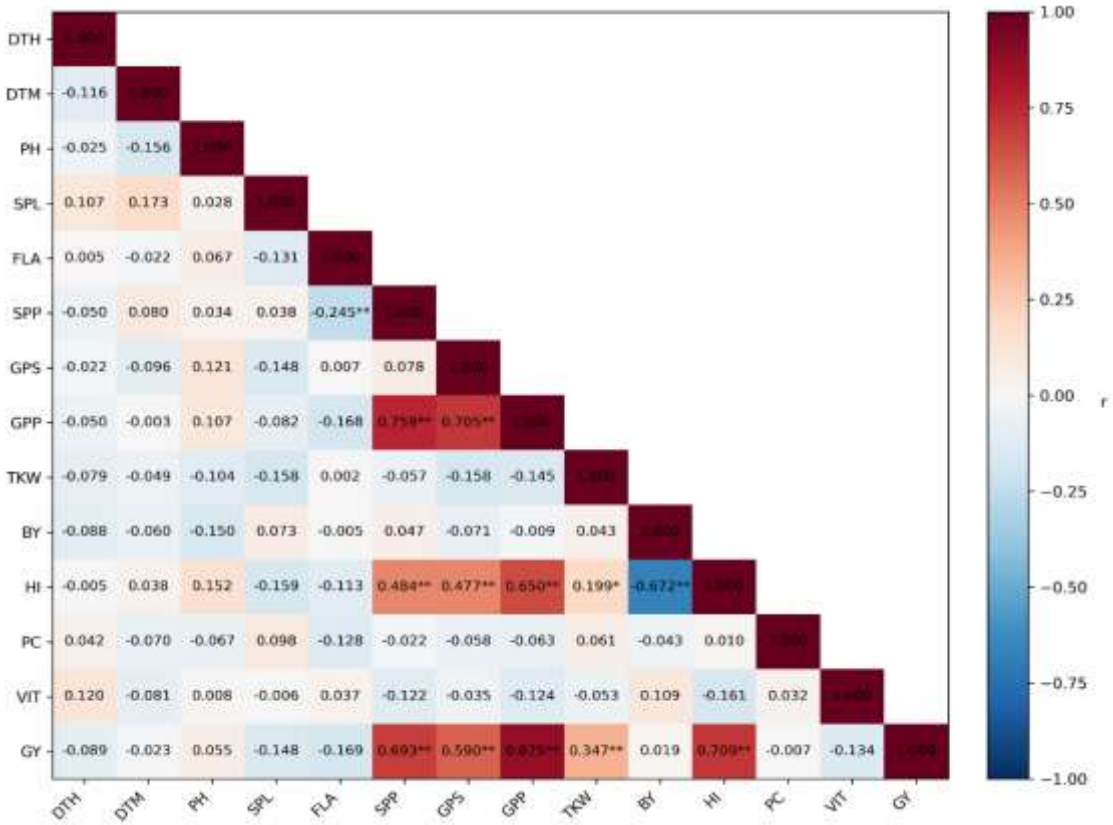
## 2. علاقات الارتباط المظهري في الهجين الثاني (أكساد 1149 × شام 6)

بينت نتائج التحليل الإحصائي لمعاملات الارتباط المظهري في عشيرة الجيل الثاني للهجين الثاني جدول (5) وجود علاقات ارتباطية موجبة عالية المعنوية بين الغلة الحبية ومكوناتها الرئيسية، حيث سجلت صفة عدد الحبوب في النبات (GPP) أعلى قيمة ارتباط مع الغلة (r = 0.875**)، تلتها صفة دليل الحصاد (HI) بقيمة (r = 0.709**)، مما يعكس كفاءة هذا الهجين في

تحويل وتوزيع نواتج التمثيل الضوئي (Assimilates) من الأجزاء الخضرية إلى الحبوب خلال مرحلة الامتلاء، وهي صفة مرغوبة تشير إلى توازن فسيولوجي جيد بين النمو الخضري والثمري، وهو ما أكده (Richards *et al.*, 2014) عند دراستهم لأهمية دليل الحصاد في تحسين غلة القمح. ثم صفة عدد السنابل في النبات (SPP) بقيمة (r = 0.693**). تشير هذه النتائج إلى أن التباين في الغلة الحبية يعود بالدرجة الأولى إلى التباين في عدد الحبوب المتكونة في وحدة المساحة، مما يعني أن الانتخاب للتراكيب الوراثية التي تمتلك عدداً كبيراً من الحبوب سيكون مجدياً لرفع الكفاءة الإنتاجية في هذا الهجين (Slafer *et al.*, 2014). وفيما يخص العلاقة بين مكونات الغلة، أظهرت النتائج تلازماً موجباً عالي المعنوية بين صفة عدد السنابل وعدد الحبوب في النبات بقيمة ارتباط (r = 0.759**)، مما يدل على أن زيادة عدد الإشطاءات المثمرة في هذا الهجين ساهمت بشكل فعال في زيادة المحصول ولم تكن عبئاً على النبات. وتدعم هذه النتيجة ما ذكره (Duggan *et al.*, 2005) حول أهمية القدرة التفريعية في زيادة عدد السنابل وبالتالي عدد الحبوب في النبات.

علاوة على ذلك، سجل ارتباط موجب عالي المعنوية بين عدد الحبوب في السنبلة (GPS) وعدد الحبوب في النبات (GPP) بقيمة (r = 0.705**)، مما يؤكد أن زيادة عدد الحبوب على مستوى السنبلة ينعكس إيجابياً على العدد الكلي للحبوب في النبات. هذا الارتباط يدعم استراتيجية الانتخاب لزيادة خصوبة السنابل كوسيلة لتحسين الإنتاجية الكلية، وهو ما يتفق مع نتائج (Li *et al.*, 2024) الذين أكدوا أهمية تحسين خصوبة السنبلة في زيادة الغلة النهائية.

**الجدول (5): قيم معامل الارتباط المظهري بين صفة الغلة والصفات المدروسة لعشيرة الجيل الثاني ($F_2$) للهجين الثاني (أكساد 1149 × شام 6)**




**DTH**= عدد الأيام حتى الإسبال، **DTM**= عدد الأيام حتى النضج التام، **PH**= ارتفاع النبات، **SPL**= طول حامل السنبلة، **FLA**= مساحة الورقة العلم، **SPP**= عدد السنابل في النبات، **GPS**= عدد الحبوب في السنبلة، **GPP**= عدد الحبوب في النبات، **TKW**= وزن الألف حبة، **GY** = الغلة الحبية في النبات، **BY**= الغلة الحيوية في النبات، **HI**= دليل الحصاد، **PC**= محتوى الحبوب من البروتين، **VIT**= البلورية، * المعنوية على مستوى 5%، ** المعنوية على مستوى 1%.

من جهة أخرى، وعلى الرغم من أن التنافس الفسيولوجي بين عدد الحبوب ووزنها يعد ظاهرة شائعة في القمح، إلا أن هذا الهجين أظهر ارتباطاً موجباً معنوياً بين وزن الألف حبة (TKW) والغلة (r = 0.347**)، مع غياب الارتباط السالب المعنوي بين عدد الحبوب ووزنها. يفسر ذلك بقدرة النبات على تأمين احتياجات الحبوب المتكونة من الكربوهيدرات دون حدوث انخفاض مؤثر في وزن الحبة الواحدة، مما يتيح إمكانية التحسين المتزامن لهاتين الصفتين (Acreche and Slafer 2006).

أما بالنسبة للصفات الفينولوجية والمورفولوجية، فقد بينت النتائج غياب أي ارتباط معنوي بين الغلة وكل من عدد الأيام للإسبال وارتفاع النبات، مما يشير إلى استقلال هذه الصفات وراثياً عن الغلة في هذا الهجين. يمنح هذا الاستقلال مرونة للمربي في انتخاب طرز وراثية ذات إنتاجية عالية بمدى واسع من التبكير وطول الساق، مما يسهل عملية أقلمة الأصناف الناتجة مع البيئات المتباينة (Rebetzke *et al.*, 2012).

### 3. علاقات الارتباط المظهري في الهجين الثالث (أكساد 1252 × جواهر 14)

كشفت نتائج التحليل الإحصائي لمعاملات الارتباط المظهري في عشيرة الجيل الثاني للهجين الثالث جدول (6) عن نمط وراثي عالي الكفاءة الإنتاجية، حيث أظهرت الغلة الحبية ارتباطاً موجباً عالي المعنوية مع كافة مكوناتها الرئيسية، مما يعكس تآزراً فسيولوجياً بين هذه المكونات في توجيه الموارد نحو الحبوب. وقد سجلت صفة عدد الحبوب في النبات (GPP) أعلى قيمة ارتباط مع الغلة (r = 0.907**)، مما يؤكد أن هذا المكون يمثل المحدد الفسيولوجي الأول للإنتاجية في هذا التركيب الوراثي (Peltonen-Sainio *et al.*, 2007).

وإلى جانب عدد الحبوب، صفة عدد السنابل في النبات (SPP) بقيمة (r = 0.656**)، ثم صفة وزن الألف حبة (TKW) بقيمة (r = 0.558**)، وأخيراً دليل الحصاد (HI) الذي أظهر ارتباطاً قوياً وموجباً مع الغلة (r = 0.531**)، مما يدل على كفاءة عالية في عملية توزيع نواتج التمثيل الضوئي (Assimilate Partitioning). ويُعد هذا الارتباط مؤشراً على أن الهجين يمتلك توازناً بين النمو الخضري (المصدر) والنمو الثمري (المصب)، وهي خاصية شدد (Reynolds *et al.*, 2009) على أهميتها، معتبرين أن التحسين المستقبلي لغلة القمح يعتمد بشكل كبير على رفع كفاءة توزيع المادة الجافة وليس زيادتها فقط.

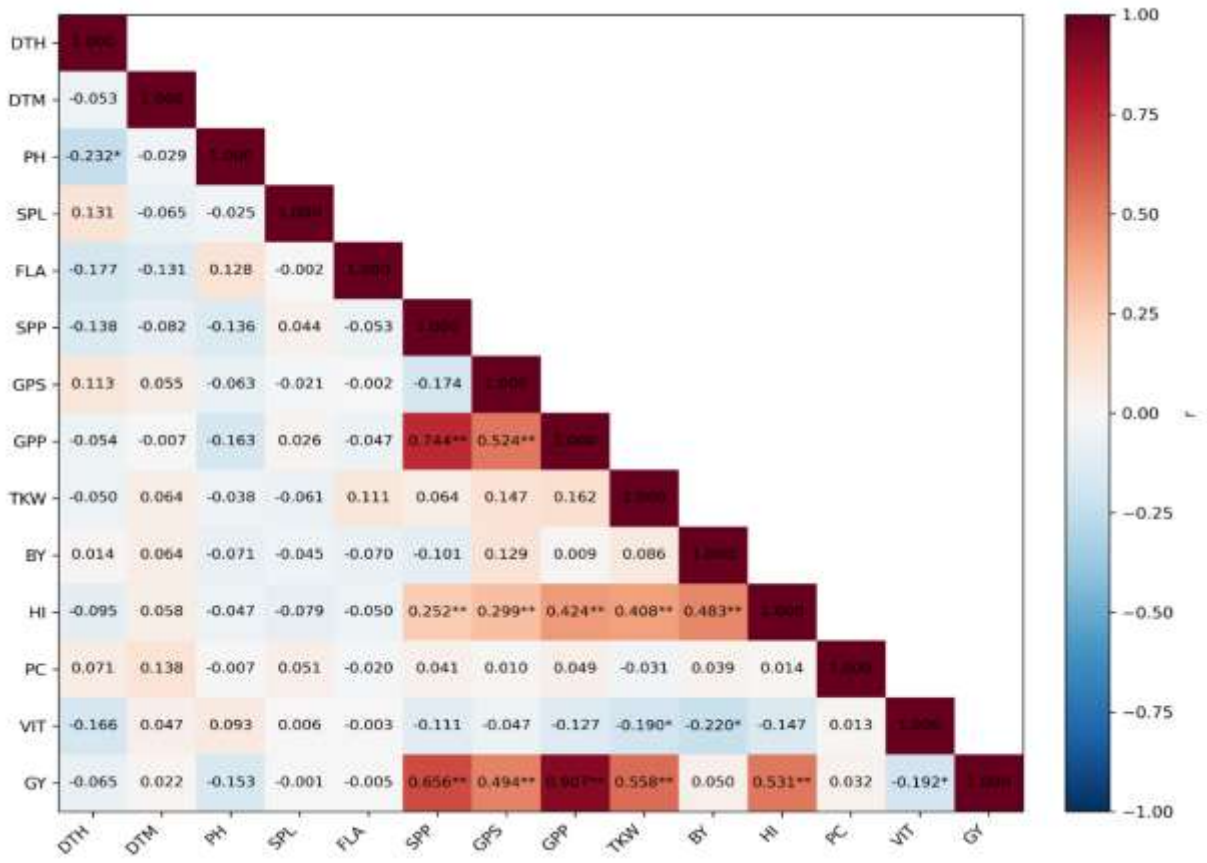
من الملاحظات البارزة والمميزة لهذا الهجين هو الارتباط الموجب العالي المعنوية بين وزن الألف حبة (TKW) والغلة الحبية (r = 0.558**)، وهو ارتباط أقوى بكثير من الهجينين السابقين. هذه النتيجة تشير إلى أن حجم الحبة يلعب دوراً محورياً في تحديد الإنتاجية في هذا الهجين، مما يعني أن الانتخاب لزيادة وزن الحبة سيكون استراتيجية فعالة لتحسين الغلة (Gegas *et al.*, 2010).

علاوة على ذلك، فإن هذا الارتباط القوي بين وزن الحبة والغلة كان مصحوباً بارتباط موجب مع عدد الحبوب في النبات (r = 0.162)، مما يشير إلى أن هذا الهجين يمتلك قدرة فسيولوجية متميزة على تأمين احتياجات الحبوب المتكونة من الكربوهيدرات دون حدوث انخفاض مؤثر في وزن الحبة الواحدة، وهو ما يتيح إمكانية التحسين المتزامن لهاتين الصفتين بفعالية أكبر مقارنة بالهجينين الآخرين.

وفيما يخص العلاقات التبادلية بين مكونات الغلة، أظهرت النتائج ترابطاً وثيقاً بين صفة عدد السنابل في النبات (SPP) وعدد الحبوب في النبات (r = 0.744**)، مما يعني أن آلية زيادة الغلة في هذا الهجين تعتمد بشكل مباشر على زيادة عدد الإشطاءات

الخصبة. وما يميز هذا الهجين هو المساهمة الإيجابية لصفة عدد الحبوب في السنبلة (GPS) التي ارتبطت مع الغلة ارتباطاً جيداً (r = 0.494**)، مما يشير إلى أن زيادة عدد السنابل لم تكن على حساب خصوبة السنبلة الواحدة، وهو توازن وراثي مرغوب يُعرف بـ لدونة مكونات الغلة (Yield Component Plasticity) (Sadras and Slafer, 2012).

**الجدول (6): قيم معامل الارتباط المظهري بين صفة الغلة والصفات المدروسة لعشيرة الجيل الثاني ($F_2$) للهجين الثالث (أكساد 1252 × جواهر 14)**




**DTH**= عدد الأيام حتى الإسبال، **DTM**= عدد الأيام حتى النضج التام، **PH**= ارتفاع النبات، **SPL**= طول حامل السنبلة، **FLA**= مساحة الورقة العلم، **SPP**= عدد السنابل في النبات، **GPS**= عدد الحبوب في السنبلة، **GPP**= عدد الحبوب في النبات، **TKW**= وزن الألف حبة، **GY** = الغلة الحبية في النبات، **BY**= الغلة الحيوية في النبات، **HI**= دليل الحصاد، **PC**= محتوى الحبوب من البروتين، **VIT**= البلورية، * المعنوية على مستوى 5%، ** المعنوية على مستوى 1%.

النتيجة الأكثر أهمية في هذا الهجين تمثلت في العلاقة بين العدد والوزن. فمن المعروف فسيولوجياً وجود علاقة عكسية (Negative Trade-off) بين عدد الحبوب ووزن الألف حبة، إلا أن هذا الهجين أظهر سلوكاً مغايراً، حيث كان الارتباط بين هاتين الصفتين موجباً وغير معنوي (r = 0.162)، بينما حافظ وزن الألف حبة على ارتباط قوي مع الغلة (r = 0.558**). تُفسر هذه النتيجة بقدرة الهجين العالية على توفير نواتج تمثيل ضوئي كافية لملء الحبوب المتكونة بكفاءة، مما يكسر حدة التنافس الداخلي (Acreche and Slafer, 2006).

أما بالنسبة للصفات الفينولوجية، فقد جاءت الارتباطات بين الغلة وكل من التبكير وطول النبات ضعيفة وغير معنوية، مما يؤكد استقلالية عوامل الإنتاج عن دورة حياة النبات في هذا الهجين، ما يتيح للمربي حرية أكبر في انتخاب التراكيب المبكرة أو المتأخرة والتحكم بسهولة بتاريخ الزراعة بما يتناسب مع العمل الحقلي حسب متطلبات المنطقة المستهدفة دون التضحية بالغلة.

تحليل معامل المسار

### 1. تحليل معامل المسار للهجين الأول (جواهر 14 × دوما 4)

بينت النتائج أن التأثير المباشر لصفة عدد الحبوب في النبات كان مرتفعاً جداً إذ بلغ (0.749)، بينما كانت التأثيرات غير المباشرة منخفضة نسبياً، ليصل إجمالي الارتباط المظهري إلى (0.913). يشير التقارب الكبير بين قيمة التأثير المباشر والارتباط الكلي إلى أن هذه الصفة هي المسؤول الحقيقي والمباشر عن زيادة الغلة في هذا الهجين، مما يجعلها معياراً انتخابياً أولياً وموثوقاً، حيث يمكن للمربي الاعتماد عليها بثقة عالية لتحقيق تقدم وراثي ملموس في الأجيال اللاحقة.

كما أوضحت النتائج أن التأثير المباشر لصفة وزن الألف حبة بلغ (0.369)، وهو تأثير إيجابي وجيد، وقد تطابق تقريباً مع ارتباطها الكلي البالغ (0.378)، حيث كانت التأثيرات غير المباشرة عبر الصفات الأخرى ضئيلة جداً. وتدل هذه النتيجة على استقلالية هذه الصفة في تأثيرها على الغلة، مما يعني إمكانية تحسين وزن الحبة جنباً إلى جنب مع عدد الحبوب دون حدوث تضارب أو تأثيرات سلبية تعيق عملية الانتخاب، وهو مؤشر إيجابي لثبات الإنتاجية وجودة المحصول. أما صفة عدد السنابل في النبات، فقد كان تأثيرها المباشر في الغلة منخفضاً حيث بلغ (0.083)، في حين كان تأثيرها غير المباشر عبر صفة عدد الحبوب في النبات مرتفعاً جداً وبلغ (0.600)، ليصل إجمالي ارتباطها بالغلة إلى (0.730). تُظهر هذه القيم بوضوح أن أهمية عدد السنابل في هذا الهجين لا تكمن في تأثيرها الذاتي، بل في كونها الوسيلة الأساسية لزيادة عدد الحبوب، مما يتيح للمربي استخدام عدد السنابل كدليل ظاهري مساعد عند الانتخاب، نظراً لسهولة قياسه حقلياً وارتباطه الوثيق بالمكون الرئيسي للغلة.

**الجدول (7): التأثيرات المباشرة وغير المباشرة للصفات الأكثر مساهمة في الغلة في الهجين الأول (جواهر 14×دوما 4)**

| الصفة (Trait) | التأثير المباشر | غير مباشر عبر GPP | غير مباشر عبر TKW | غير مباشر عبر HI | غير مباشر عبر SPP | تأثير باقي الصفات | الارتباط الكلي |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **GPP** | 0.749 | - | -0.01 | 0.089 | 0.067 | 0.018 | 0.913 |
| **TKW** | 0.369 | -0.02 | - | 0.034 | -0.001 | -0.004 | 0.378 |
| **HI** | 0.131 | 0.506 | 0.097 | - | 0.045 | -0.043 | 0.736 |
| **SPP** | 0.083 | 0.6 | -0.005 | 0.072 | - | -0.02 | 0.730 |

ولتقدير حجم الدور الذي تلعبه كل صفة في تحديد الإنتاجية النهائية، تم حساب الأهمية النسبية لمكونات المحصول كنسبة مئوية من التباين الكلي المفسر ($R^2$=0.979). وقد أظهرت النتائج تبايناً واضحاً في مساهمة الصفات المدروسة جدول (8)، حيث تصدرت صفة عدد الحبوب في النبات قائمة الصفات الأكثر تأثيراً، مسجلةً أعلى أهمية نسبية بلغت (68.35%). تعكس هذه النتيجة الهيمنة المطلقة لهذه الصفة على تباين الغلة في الهجين الأول، وتؤكد أن المسار الفسيولوجي لزيادة عدد الحبوب هو المسار الأهم والأكثر فاعلية لتحقيق الكسب الوراثي في هذا التركيب.

وجاءت صفة وزن الألف حبة في المرتبة الثانية بأهمية نسبية بلغت (13.93%) ، مما يشير إلى مساهمتها المعتبرة والمستقلة في تعزيز الغلة، تلتها صفة دليل الحصاد بنسبة مساهمة (9.64%). أما صفة عدد السنابل في النبات، فقد ساهمت بنسبة (6.07%)

فقط من التباين المفسر بشكل مباشر. وعلى الرغم من أن هذه النسبة تبدو منخفضة مقارنة بارتباطها القوي، إلا أنها تتسق مع نتائج تحليل المسار التي أظهرت أن معظم تأثيرها يمر بشكل غير مباشر لخدمة عدد الحبوب في النبات.

**الجدول (8): الأهمية النسبية للصفات الأكثر مساهمة في تباين الغلة للهجين الأول (جواهر 14 × دوما 4).**

| الصفة Trait | المساهمة المباشرة Direct Determination | المساهمة غير المباشرة Indirect Determination | المساهمة الكلية Total D | النسبة المئوية للمساهمة (%) |
|---|---|---|---|---|
| GPP | 0.5603 | 0.1232 | 0.6835 | 68.35 |
| TKW | 0.1358 | 0.0035 | 0.1393 | 13.93 |
| HI | 0.0172 | 0.0793 | 0.0964 | 9.64 |
| SPP | 0.0069 | 0.0538 | 0.0607 | 6.07 |
| المجموع | - | - | 0.9799 | **97.99%** |
| المتبقي | - | - | 0.0201 | 2.01% |

شير محصلة الأهمية النسبية إلى أن أكثر من 82 % من تباين الغلة في الهجين الأول يقع تحت سيطرة صفتي عدد الحبوب في النبات ووزن الألف حبة مجتمعتين، مما يوجه البوصلة الانتخابية للمربي للتركيز المكثف على هاتين الصفتين لتحقيق أقصى درجات التحسين الوراثي.

### 2. تحليل معامل المسار للهجين الثاني (أكساد 1149 × شام 6)

أوضحت نتائج تحليل معامل المسار للهجين الثاني جدول (9) أن صفات عدد الحبوب في النبات، ووزن الألف حبة، وعدد السنابل في النبات كانت المساهم الأكبر في تباين الغلة الحبية.

وبينت النتائج أن التأثير المباشر لصفة عدد الحبوب في النبات بلغ (0.613)، وهو التأثير الأعلى في هذا الهجين، بينما كان تأثيرها غير المباشر عبر صفة وزن الألف حبة (0.209)، وعبر صفة عدد السنابل (0.038)، ليصل إجمالي الارتباط المظهري إلى (0.875). تشير هذه القيم المرتفعة للتأثير المباشر والارتباط الكلي إلى أن هذه الصفة تعتبر المكون الأساسي لزيادة الغلة في هذا الهجين، مما يجعل الاعتماد عليها كدليل انتخابي رئيسي أمراً فعالاً لتحقيق التحسين الوراثي المطلوب.

كما أظهرت النتائج أن التأثير المباشر لصفة وزن الألف حبة كان مرتفعاً إذ بلغ (0.457)، في حين كان تأثيرها غير المباشر عبر صفة عدد الحبوب في النبات (0.280)، وسجلت ارتباطاً كلياً بلغ (0.347). ويلاحظ هنا أن التأثير المباشر للصفة كان أقوى من ارتباطها الظاهري، مما يؤكد أهمية هذه الصفة الحقيقية في بناء الغلة، ويدعو المربي لضرورة مراعاتها وإدراجها ضمن البرنامج الانتخابي لضمان الحصول على حبوب ممتلئة بالتزامن مع وفرة الإنتاج.

أما صفة عدد السنابل في النبات، فقد ساهمت في زيادة الغلة بتأثير مباشر بلغ (0.196)، لكن مساهمتها الأكبر جاءت بشكل غير مباشر عبر صفة عدد الحبوب في النبات بقيمة (0.536)، ليصل إجمالي تأثيرها إلى (0.693). وتدل هذه النتائج على أن زيادة عدد السنابل في هذا الهجين تؤدي بالضرورة لزيادة عدد الحبوب في النبات، مما يتيح للمربي استخدام عدد السنابل كمعيار انتخابي ظاهري ومساند للصفات الأخرى للتنبؤ بالغلة العالية في وقت مبكر من عمر النبات.

**الجدول (9): التأثيرات المباشرة وغير المباشرة للصفات الأكثر مساهمة في الغلة في الهجين الثاني (أكساد1149×شام6)**

| الصفة (Trait) | التأثير المباشر | غير مباشر عبر GPP | غير مباشر عبر TKW | غير مباشر عبر SPP | تأثير باقي الصفات | الارتباط الكلي |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **GPP** | 0.613 | - | 0.209 | 0.038 | 0.015 | 0.875 |
| **TKW** | 0.457 | 0.28 | - | -0.002 | -0.388 | 0.347 |
| **SPP** | 0.196 | 0.536 | -0.005 | - | -0.034 | 0.693 |
| **HI** | 0.079 | 0.398 | 0.091 | 0.095 | 0.046 | 0.709 |
| **GPS** | 0.182 | 0.359 | -0.005 | 0.057 | -0.003 | 0.590 |

وللوقوف بدقة على الدور الذي تقوم به كل صفة في تحديد كمية المحصول، تم تقدير الأهمية النسبية لمكونات الغلة كنسبة مئوية من التباين الكلي المفسر ($R^2$=0.993). وقد كشفت النتائج عن تباين واضح في ترتيب الصفات من حيث مساهمتها جدول (10)، حيث حققت صفة عدد الحبوب في النبات المرتبة الأولى بأهمية نسبية بلغت (53.61%). تشير هذه النتيجة إلى أن أكثر من نصف التباين في غلة الهجين الثاني يعود بشكل مباشر إلى قدرته على تكوين عدد كبير من الحبوب، مما يرسخ مكانة هذه الصفة كمعيار انتخابي رئيسي.

وجاءت صفة وزن الألف حبة في المرتبة الثانية بنسبة مساهمة بلغت (15.83%)، مما يعكس دورها الهام والمكمل في تعويض أي نقص محتمل في العدد، تلتها صفة عدد السنابل في النبات التي ساهمت بنسبة (13.59%) من التباين المفسر، ثم صفة عدد حبوب السنبلة بنسبة (10.75%).

**الجدول (10): الأهمية النسبية للصفات الأكثر مساهمة في تباين الغلة للهجين الثاني (أكساد 1149 × شام 6).**

| الصفة Trait | المساهمة المباشرة Direct Determination | المساهمة غير المباشرة Indirect Determination | المساهمة الكلية Total D | النسبة المئوية للمساهمة (%) |
|---|---|---|---|---|
| **GPP** | 0.3752 | 0.1609 | 0.5361 | 53.61 |
| **TKW** | 0.2086 | -0.0503 | 0.1583 | 15.83 |
| **SPP** | 0.0385 | 0.0974 | 0.1359 | 13.59 |
| **GPS** | 0.0332 | 0.0743 | 0.1075 | 10.75 |
| **HI** | 0.0062 | 0.0496 | 0.0558 | 5.58 |
| **المجموع** | - | - | 0.9936 | **99.36%** |
| **المتبقي** | - | - | 0.0064 | 0.64% |

الملاحظ في الهجين الثاني هو التوزيع الأكثر توازناً للأهمية النسبية مقارنة بالهجين الأول، فبينما سيطر عدد الحبوب بشكل مطلق هناك، نجد هنا مساهمة ملموسة لثلاث صفات رئيسية (عدد الحبوب، وزن الألف حبة، عدد السنابل) التي شكلت مجتمعة حوالي (83 %) من التباين. هذا النمط يشير إلى أن استراتيجية التحسين في الهجين الثاني يجب أن تكون أكثر شمولية، بحيث تعتمد على الانتخاب المتزامن (Simultaneous Selection) لهذه المكونات الثلاثة لضمان استقرار الإنتاجية.

### 3. تحليل معامل المسار للهجين الثالث (أكساد 1252 × جواهر 14)

أوضحت نتائج تحليل معامل المسار للهجين الثالث، والمبينة في الجدول (11)، أن صفات عدد الحبوب في النبات، ووزن الألف حبة، وعدد السنابل في النبات كانت الصفات الأكثر إسهاماً في تباين الغلة الحبية.

وبينت النتائج أن التأثير المباشر لصفة عدد الحبوب في النبات كان مرتفعاً جداً وموجباً إذ بلغ (0.980)، وهو التأثير الأعلى في هذا الهجين، بينما كانت التأثيرات غير المباشرة ضئيلة، ليصل إجمالي الارتباط المظهري إلى (0.907). تشير هذه القيم إلى أن هذه الصفة هي المسؤول الحقيقي والمباشر عن تحديد كمية المحصول، مما يجعل الاعتماد عليها كمعيار انتخابي أمراً في غاية الأهمية لفعاليتها في نقل الأثر الوراثي للغلة، وبالتالي فإن الانتخاب المباشر للنباتات ذات العدد الكبير من الحبوب سيؤدي بالضرورة إلى تحسين ملموس في الغلة الحبية لهذا الهجين. كما أظهرت النتائج أن التأثير المباشر لصفة وزن الألف حبة بلغ (0.422)، وهو تأثير موجب وجيد، يقابله تأثير غير مباشر موجب عبر صفة عدد الحبوب في النبات قدره (0.159)، ليكون الارتباط الكلي (0.558). وتدل هذه النتيجة على عدم وجود تضاد وراثي (علاقة عكسية) بين وزن الحبة وعدد الحبوب في هذا التركيب الوراثي، مما يتيح للمربي فرصة التحسين المتزامن للصفتين معاً، حيث يساهم وزن الحبة في رفع الغلة بشكل مستقل وداعم لعدد الحبوب.

أما بالنسبة لصفة عدد السنابل في النبات، فقد أظهرت سلوكاً مختلفاً، حيث كان تأثيرها المباشر في الغلة سالباً وضعيفاً (0.120)، إلا أن تأثيرها غير المباشر عبر صفة عدد الحبوب في النبات كان مرتفعاً جداً وموجباً (0.729)، مما جعل ارتباطها الكلي بالغلة موجباً وقوياً (0.656). يُستنتج من ذلك أن أهمية عدد السنابل لا تعود لتأثيرها الذاتي في زيادة الوزن النهائي للمحصول، بل لدورها الأساسي في زيادة عدد الحبوب في النبات. وعليه، فإن الانتخاب لعدد السنابل يُعد وسيلة غير مباشرة وفعالة لزيادة الغلة، بشرط أن يترافق ذلك مع المحافظة على نسبة خصوبة عالية في السنابل لضمان ترجمة هذا التفريع إلى حبوب ممتلئة.

**الجدول (11): التأثيرات المباشرة وغير المباشرة للصفات الأكثر مساهمة في الغلة في الهجين الثالث (أكساد 1252 × جواهر 14)**

| الصفة (Trait) | التأثير المباشر | غير مباشر عبر GPP | غير مباشر عبر TKW | غير مباشر عبر SPP | تأثير باقي الصفات | الارتباط الكلي |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **GPP** | 0.980 | - | 0.069 | -0.089 | -0.053 | 0.907 |
| **TKW** | 0.422 | 0.159 | - | -0.008 | -0.015 | 0.558 |
| **SPP** | -0.120 | 0.729 | 0.027 | - | 0.02 | 0.656 |
| **HI** | 0.002 | 0.416 | 0.172 | -0.03 | -0.029 | 0.531 |
| **GPS** | -0.103 | 0.514 | 0.062 | 0.021 | 0 | 0.494 |

ولتقدير حجم الدور الحقيقي لكل مكون من مكونات المحصول، تم حساب الأهمية النسبية كنسبة مئوية من التباين الكلي المفسر للغلة ($R^2$=0.996). وقد أظهرت النتائج، كما هو مبين في الجدول (12)، هيمنة مطلقة لصفة عدد الحبوب في النبات التي سجلت أعلى نسبة مساهمة في تباين الغلة بلغت (88.91%). تُعد هذه القيمة مؤشراً قوياً جداً على أن الغلة في الهجين الثالث هي دالة خطية لعدد الحبوب، وأن أي برنامج انتخابي يركز على هذه الصفة سيضمن نقل الجزء الأعظم من التباين الوراثي المرغوب للأجيال اللاحقة.

كما أظهرت النتائج أن صفة وزن الألف حبة قد ساهمت بنسبة (23.57%) من التباين المفسر، مما يؤكد أنها الرافد الثاني للإنتاجية في هذا الهجين، وأنها تعمل بتوافق تام مع عدد الحبوب لتعظيم الغلة. أما بالنسبة لصفتي عدد السنابل وعدد الحبوب في السنبلة، فقد أظهرت النتائج قيماً سالبة للأهمية النسبية (7.86-% و 5.11-% على التوالي)، وذلك نتيجةً للتأثير المباشر السالب لهاتين الصفتين بالرغم من ارتباطهما الموجب بالغلة. يُفسر هذا السلوك بأن المساهمة الإيجابية لهاتين الصفتين قد تم استيعابها

بالكامل وتضخيمها عبر صفة عدد الحبوب في النبات، مما جعلهما تعملان كعوامل مساعدة (Indirect Contributors) لزيادة السعة التخزينية للنبات، بدلاً من التأثير المباشر في الوزن النهائي للمحصول.

**الجدول (12): الأهمية النسبية للصفات الأكثر مساهمة في تباين الغلة للهجين الثالث (أكساد 1252 × جواهر 14).**

| الصفة Trait | المساهمة المباشرة Direct Determination | المساهمة غير المباشرة Indirect Determination | المساهمة الكلية Total D | النسبة المئوية للمساهمة (%) |
|---|---|---|---|---|
| **GPP** | 0.9601 | -0.071 | 0.8891 | 88.91 |
| **TKW** | 0.1783 | 0.0574 | 0.2357 | 23.57 |
| **HI** | 0.00001 | 0.0012 | 0.0012 | 0.12 |
| **GPS** | 0.0106 | -0.0616 | -0.051 | -5.11 |
| **SPP** | 0.0144 | -0.093 | -0.0786 | -7.86 |
| **المجموع** | - | - | 0.9964 | **99.64%** |
| **المتبقي** | - | - | 0.0036 | 0.36% |

تشير محصلة التحليل إلى أن الهجين الثالث يمتلك نظاماً فسيولوجياً عالي الكفاءة يعتمد بنسبة تقارب 90% على عدد الحبوب كمحدد للغلة، وبنسبة 23% على وزن الحبة، مع وجود تداخلات تعويضية بين بقية المكونات لضبط هذا التوازن.

## الاستنتاجات:

1. ارتبطت الغلة الحبية معنوياً بعدد الحبوب في النبات ووزن الألف حبة في جميع الهجن.
2. كانت صفة عدد الحبوب في النبات العامل الأكثر تأثيراً مباشرة في الغلة والأعلى إسهاماً في تفسير تباينها.
3. ساهمت صفة وزن الألف حبة بتأثير مباشر موجب دون تعارض واضح مع صفة عدد الحبوب، وأسهمت صفة عدد السنابل في زيادة الغلة بشكل غير مباشر عبر زيادة عدد الحبوب.
4. فسرت الصفات المدروسة ما يقارب 98% من تباين الغلة الحبية.

## التوصيات:

1. اعتماد صفة عدد الحبوب في النبات معياراً انتخابياً رئيسياً في برامج تربية القمح.
2. تطبيق الانتخاب المتزامن لعدد الحبوب ووزن الألف حبة لرفع الإنتاجية.
3. استخدام صفة عدد السنابل كدليل انتخابي مساعد في المراحل المبكرة.

## المراجع:

العبد الواحد، محمد باقر، (2020). وراثة بعض الصفات الكمية في هجن من القمح الطري تحت ظروف منطقة الاستقرار الثانية، رسالة ماجستير، كلية الهندسة الزراعية، جامعة الفرات، سورية. 95 صفحة.

عطاالله، فراس، (2023). دراسة وراثية للصفات الكمية المتعلقة بعناصر الغلة لتحسين هجن من القمح الطري، رسالة دكتوراة، كلية الهندسة الزراعية، جامعة حمص، سورية. 166 صفحة.

كاسو، علا، (2023). تقدير بعض المعايير الوراثية لأهم الصفات الإنتاجية ومكوناتها وأثرها في التحسين الوراثي للقمح القاسي (*Triticum durum* Desf.)، رسالة دكتوراة، كلية الهندسة الزراعية، جامعة حمص، سورية. 145 صفحة.

Acreche, M. M., and Slafer, G. A. (2006). Grain weight response to increases in number of grains in wheat in a Mediterranean area. *Field Crops Research*, 98(1), 52-59.

Aycicek, M., and Yildirim, T. (2006). Path coefficient analysis of yield and yield components in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. Pakistan Journal of Botany, 38(2), 417.

Chen, J., and Lubberstedt, T. (2010). Molecular basis of trait correlations. Trends in Plant Science, 15(8), 454-461.

Dangi, B. (2024). Diversification of FHB Resistance QTL in Winter Wheat Germplasm (Master's thesis, North Dakota State University).

Dewey, D. R., and Lu, K. (1959). A correlation and path-coefficient analysis of components of crested wheatgrass seed production 1. Agronomy journal, 51(9), 515-518.

Duggan, B. L., Domitruk, D. R., and Fowler, D. B. (2005). Yield component analysis of winter wheat grown under three water regimes in the Canadian prairies. Crop Science, 45(2), 677-687.

Gegas, V. C., Nazari, A., Griffiths, S., Simmonds, J., Fish, L., Orford, S., ... and Snape, J. W. (2010). A genetic framework for grain size and shape variation in wheat. *The Plant Cell*, 22(4), 1046-1056.

Gooding, M. J., R. H. Ellist, P. R. Shewry, and J. D. Schofield, .(2003). Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. J. Cereal Sci. 37, 295–309.

Grafius, J. E. (1956). Components of Yield in Oats: A Geometrical Interpretation 1. Agronomy Journal, 48(9), 419-423.

Hayes, H. K.; R. I. Forrest and D. C. Smith. (1955). Correlation and regression in relation to plant breeding. PP: 439-451. Methods of plant breeding. Second ED. McGraw-Hill Company Inc.

Johnson, H. W., Robinson, H. F., and Comstock, R. E. (1955). Estimates of genetic and environmental variability in soybeans. Agronomy Journal, 47(7), 314-318.

Li, W., Zhang, D., Zhu, G., Mi, X., and Guo, W. (2024). Flag leaf size and posture affect photosynthetic capacity and grain yield in wheat. Journal of Experimental Botany, 75(10), 3021-3035.

Mecha, B., Alamerew, S., Assefa, A., and Dutamo, D. (2017). Correlation and path coefficient studies of yield and yield related traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. Advances in Plants and Agriculture Research, 6(5), 147-154.

Mishra, S. K., Surin, S. S., Verma, N., Tirkey, S. K., Bhargaw, P. K., Agarwal, A. K., ... and Pandey, M. K. (2025). Effect of sowing dates on genetic variability, correlation and path analysis in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under Ranchi conditions.

Peltonen-Sainio, P., Kangas, A., Salo, Y., and Jauhiainen, L. (2007). Grain number dominates grain weight in temperate cereal yield determination: Evidence based on 30 years of multi-location trials. *Field Crops Research*, 100(2-3), 179-188.

Rebetzke, G. J., Rattey, A. R., Farquhar, G. D., Richards, R. A., and Condon, A. G. (2012). Genomic regions for canopy temperature and their genetic association with stomatal conductance and grain yield in wheat. *Functional Plant Biology*, 40(1), 14-33.

Reynolds, M., Foulkes, M. J., Slafer, G. A., Berry, P., Parry, M. A., and Snape, J. W. (2009). Raising yield potential in wheat. Journal of Experimental Botany, 60(6), 1899-1918.

Richards, R. A., Hunt, J. R., Kirkegaard, J. A., and Passioura, J. B. (2014). Yield improvement and adaptation of wheat to water-limited environments in Australia—a case study. Crop and Pasture Science, 65(7), 676-689.

Sadras, V. O., and Slafer, G. A. (2012). Environmental modulation of yield components in cereals: Heritabilities reveal a hierarchy of plasticity. Crop Science, 52(6), 2386-2396.

Slafer, G. A., Savin, R., and Sadras, V. O. (2014). Coarse and fine regulation of wheat yield components in response to genotype and environment. Field Crops Research, 157, 71-83.

Wright, S. (1923). The theory of path coefficients a reply to Niles's criticism. Genetics, 8(3), 239.

Zhang, F., Li, Y., Wang, N., Kong, R., Mi, Q., Li, M., ... and Yang, J. (2024). Carbon-Nitrogen Metabolism and Transportation Based-Quality Evaluation Indicators for Low-Temperature Disaster of Winter Wheat During Jointing Stage. Available at SSRN 5234952.

Zhou, Y., He, Z. H., Sui, X. X., Xia, X. C., Zhang, X. K., and Zhang, G. S. (2007). Genetic improvement of grain yield and associated traits in the northern China winter wheat region from 1960 to 2000. Crop Science, 47(1), 245-253.

# Analysis of correlation structure and direct and indirect effects of yield components in bread wheat hybrids

**Mohamed Baker Alabd Alwahed[1*], Faisal Bakor[1] and Thamer Alhenish[2]**

[1] Department of Field Crops, Faculty of Agricultural, Homs University, Syria.

[2] General Commission for Scientific Agricultural Research, Field Crops Research Administration, Syria.

(*Corresponding author: Mohamed Baker, Email: Baker963949351833@gmail.com )

**Received:** 1/ 2/ 2026 **Accepted:** 12/ 3/ 2026

## Abstract

Three single crosses of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) were evaluated at the Qarahta Research Station during the 2020-2021 and 2021-2022 seasons. The study aimed to assess the correlation relationships between grain yield and its components, and to identify the most significant traits influencing yield using path coefficient analysis. The experiment was laid out in a Randomized Complete Block Design (RCBD) with three replications. Data were statistically analyzed to determine simple correlation coefficients, direct and indirect effects of yield components, the coefficient of determination (R2), and the relative importance of each trait in explaining grain yield variation. Correlation analysis revealed positive and highly significant relationships ($p \leq 0.01$) between grain yield and grains per plant (GPP), grain per spike (GPS), thousand kernel weight (TKW), spikes per plant (SPP), and harvest index (HI) across all three crosses. Path coefficient analysis indicated that grains per plant (GPP) had the highest direct contribution to grain yield variation in all crosses. The direct effect values were 0.749, 0.613, and 0.980 for the first, second, and third crosses, respectively. The relative importance of this trait was 68.35%, 53.61%, and 88.91%, respectively, followed by thousand kernel weight (TKW). The coefficient of determination (R2) values for the statistical models of the three crosses were 0.979, 0.994, and 0.996, respectively, indicating that the studied traits accounted for more than 98% of the total variation in grain yield. These results confirm that grains per plant is a primary trait to target during direct selection in breeding programs. It can be adopted as a fundamental selection criterion for improving grain yield, while also considering the simultaneous improvement of thousand kernel weight and the maintenance of high tillering capacity (spikes per plant) as supporting factors to maximize productivity in these promising bread wheat crosses.

**Keywords:** Bread Wheat, Correlation Coefficient, Path Analysis, Grain Yield.